

# Приближенный расчет тока рабочей перегрузки триаков

**В статье представлена методика расчетов тока рабочей перегрузки, позволяющая правильно выбрать тип триака под заданный режим эксплуатации на основании технических характеристик, указываемых производителем.**

**Валентина Богодерова  
Владимир Вережкин**

marketing@element.zp.ua

Одной из основных областей применения триаков являются бесконтактные коммутаторы (ключи переменного тока). Характерной особенностью работы этих устройств является воздействие на триак при каждом его включении перегрузки по току, величина и длительность которой обусловлена характером нагрузки.

Рекомендуемые методы расчета тока рабочей перегрузки [1, 2], к сожалению, носят общий характер и не позволяют произвести расчет только на основании данных, приводимых в информационных каталогах на триаки.

Ток рабочей перегрузки  $I_{T(OV)}$  — это ток открытого состояния, который при постоянном протекании вызвал бы превышение максимально допустимой эффективной температуры перехода, но который так ограничен во времени, что эта температура не повышается.

Мощность, рассеиваемая в триаке, определяется по формуле:

$$P_m = \frac{U_{T(TO)}}{k_\phi} I_{TRMS} + r_T I_{TRMS}^2, \quad (1)$$

где  $U_{T(TO)}$  — пороговое напряжение,  $r_T$  — динамическое сопротивление,  $I_{TRMS}$  — эффективное значение синусоидального тока.

Из формулы (1):

$$I_{TRMS} = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_{T(TO)}}{k_\phi}\right)^2 + 4r_T P_m} - \frac{U_{T(TO)}}{k_\phi}}{2r_T}. \quad (2)$$

Амплитудное значение тока:

$$I_m = \sqrt{2} I_{TRMS}. \quad (3)$$

Обозначим  $I_m$  как ток рабочей перегрузки, то есть  $I_m = I_{T(OV)}$ .

Максимально допустимая мощность, рассеиваемая триаком, зависит от максимально допустимой температуры его перехода, предшествующей нагрузке триака, температуры окружающей среды и теплового сопротивления триака и охладителя:

$$P_m = \Delta T_{jm} / Z_{(th) tja}(t), \quad (4)$$

где  $\Delta T_{jm}$  — максимальный перегрев перехода от протекания тока перегрузки;  $t$  — время протекания тока перегрузки;  $Z_{(th) tja}(t)$  — тепловое сопротивление триака с охладителем в момент времени  $t$ , соответствующий длительности перегрузки.

Максимально допустимый перегрев перехода триака от тока перегрузки при условии, что перегрузке предшествовал ток нагрузки  $I_{nредм.}$ , определяется по формуле:

$$\Delta T_{jm} = T_{jm} - T_a - P_a (R_{thja} - Z_{(th) tja}(t)), \quad (5)$$

где  $T_{jm}$  — максимально допустимая температура  $p-n$ -перехода,  $T_a$  — температура окружающей среды,  $k_\phi$  — коэффициент формы тока,  $R_{thja}$  — установившееся тепловое сопротивление триака с охладителем, а  $P_a$  — среднее значение мощности, рассеиваемой от предшествующего тока нагрузки синусоидальной формы, рассчитываемое по формуле:

$$P_a = r_T I_{nредм.}^2 + \frac{U_{T(TO)}}{k_\phi} I_{nредм.}. \quad (6)$$

Для определения зависимости максимального перегрева триака  $\Delta T_{jm}$  от рассеиваемой мощности  $P_m$  (1) представляем выделяемую мощность в виде прямоугольных импульсов, эквивалентных синусоидальным (рис. 1).

Длительность прямоугольных импульсов тока, эквивалентных по мощности синусоидальным импульсам тока перегрузки, определяется по формуле:

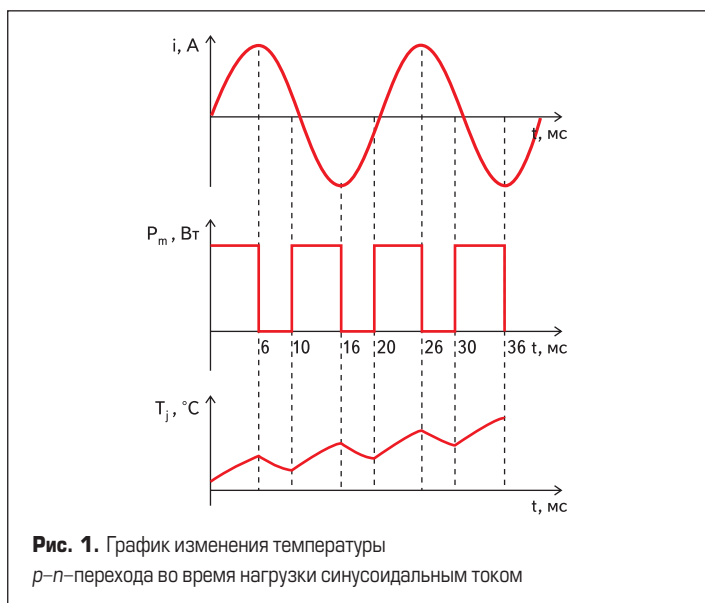
$$\tilde{t}_u = t_u \frac{\frac{2}{\pi} + \frac{x}{2}}{1 + x}. \quad (7)$$

Здесь  $\tilde{t}_u$  — длительность эквивалентного импульса мощности,  $t_u$  — длительность синусоидального импульса и

$$x = (r_T I_m) / U_{T(TO)}. \quad (8)$$

В зависимости от  $I_m$  значение  $x$  меняется от 0,5 до 0,64. Берем  $x = 0,6$ . Тогда длительность эквивалентных прямоугольных импульсов:

$$\tilde{t}_u = 0,6 t_u.$$



При синусоидальном токе частотой  $f = 50$  Гц длительность импульса  $t_u = 10$  мс. Таким образом, длительность эквивалентного импульса  $\tilde{t}_u = 0,6 \times 10 = 6$  мс.

Максимальные значения температуры перехода будут в конце  $n$ -го эквивалентного импульса, то есть в моменты времени: 6 мс, 16 мс, 26 мс, 36 мс, ...,  $(k-1)t_u + \tilde{t}_u$ , где  $k = 1, 2, 3, \dots$  — номер импульса по порядку (рис. 1).

Если длительность перегрузки  $t$ , то число целых синусоидальных импульсов

$$\tilde{t}_u = 0,6 t_u.$$

Например, возьмем длительность перегрузки, равную 30 мс. Тогда число целых синусоидальных импульсов:  $n = 30/10 = 3$ .

Третий эквивалентный импульс заканчивается через 26 мс от начала перегрузки. Значит, в этот момент времени перегрев будет максимальным:

$$\begin{aligned} \Delta T_{jm} &= P_m Z_{(th)t}(26) - P_m Z_{(th)t}(26-6) + \\ &+ P_m Z_{(th)t}(26-10) - P_m Z_{(th)t}(26-16) + \\ &+ P_m Z_{(th)t}(26-20) = \\ &= P_m (Z_{(th)t}(26) - Z_{(th)t}(20) + Z_{(th)t}(16) - \\ &- Z_{(th)t}(10) + Z_{(th)t}(6)). \end{aligned} \quad (9)$$

Если количество импульсов тока  $n$ , то уравнение (9) в общем виде можно записать следующим образом

$$\Delta T_{jm} = P_m \sum_{k=1}^n \{ Z_{(th)t} + (t_u + (k-1)t) - Z_{(th)t}(k-1)t \}. \quad (10)$$

Для тока перегрузки, с учетом уравнений (2), (3), (4), (5) и (10), получим (11).

Для случаев, когда число импульсов  $n$  большое (при  $t \geq 1$ ), тепловое сопротивление прибора можно усреднить по формуле (12).

Для тока перегрузки с частотой 50 Гц и длительностью больше одной секунды — (13).

С учетом значений  $\tilde{t}_u = 6$  мс и  $t = 10$  мс уравнение (13) запишется:

$$\Delta T_{jm} = P_m [0,6 Z_{(th)t}(t) + 0,4 Z_{(th)t}(16) - Z_{(th)t}(10) + Z_{(th)t}(6)]. \quad (14)$$

С учетом (14) для величины тока перегрузки  $I_{T(OV)}$  длительностью больше 1 с получим (15).

Таким образом, ток рабочей перегрузки можно приблизительно рассчитать по формулам (11) и (15), пользуясь зависимостью теплового сопротивления от времени.

В случае, когда ток рабочей перегрузки протекает непосредственно после включения триака, то есть когда предшествующий ток нагрузки равен нулю — (16).

Все параметры, необходимые для расчета, приводятся в информационном каталоге на данный тип триака. Зависимость переходного теплового сопротивления  $Z$  от времени  $t$  определяется экспериментально и представлена в каталоге на графиках.

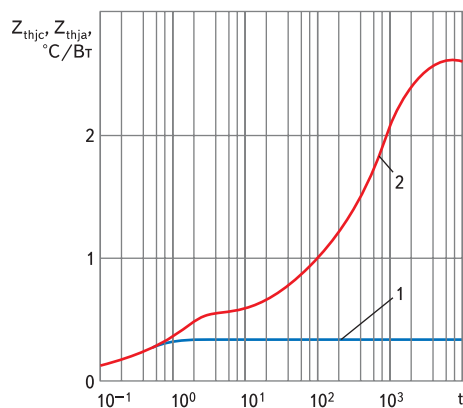
Например, график зависимости  $Z$  от  $t$  для триака ТС142-80 имеет вид, представленный на рис. 2.

Таким образом, по предложенным формулам можно производить инженерные расчеты тока рабочей перегрузки триаков. Расчет может

быть выполнен на основании данных, приведенных в информационном каталоге [5].

## Литература

1. Рабинерсон А. А., Ашкинази Г. А. Режимы нагрузки силовых полупроводниковых приборов. М.: «Энергия». 1976.
2. Расчет силовых полупроводниковых приборов / Под редакцией В. А. Кузьмина. М.: «Энергия». 1980.
3. Шпер В. Л. Об эквивалентном импульсе мощности // Электротехническая промышленность: Преобразовательная техника. Выпуск 6 (125). 1971.
4. Кремниевые управляемые вентили — тиристоры / Перевод с английского под редакцией В. А. Лабунцова и А. Ф. Свиридова. М.: «Энергия». 1964.
5. Каталог «Силовые полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры, триаки штыревой конструкции на токи 10–125 А». ООО «Элемент-Преобразователь». 2004.



**Рис. 2.** Зависимость переходного теплового сопротивления «переход–корпус»  $Z_{thjc}$  (1) и «переход–среда»  $Z_{thja}$  (2) от времени  $t$  при естественном охлаждении на типовом охладителе при температуре окружающей среды  $T_a = 40$  °C

$$I_{T(OV)} = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_{T(ТО)}}{k_\phi}\right)^2 + 4r_T} \frac{T_{jm} - T_a - P_a [R_{thja} - Z_{(th)t}(t)]}{\sum_{k=1}^n \{ Z_{(th)t}(\tilde{t}_u + (k-1)t_u - Z_{(th)t}(k-1)t_u \}}}{\sqrt{2}r_T} - \frac{U_{T(ТО)}}{k_\phi} \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^n Z_{(th)t} = \frac{\tilde{t}_u}{t_u} Z_{(th)t}(t) + \left(1 - \frac{\tilde{t}_u}{t_u}\right) Z_{(th)t}(t_u + \tilde{t}_u) - Z_{(th)t}(t_u) + Z_{(th)t}(\tilde{t}_u) \quad (12)$$

$$\Delta T_{jm} = P_m \left[ \frac{\tilde{t}_u}{t_u} Z_{(th)t}(t) + \left(1 - \frac{\tilde{t}_u}{t_u}\right) Z_{(th)t}(t_u + \tilde{t}_u) - Z_{(th)t}(t_u) + Z_{(th)t}(\tilde{t}_u) \right] \quad (13)$$

$$I_{T(OV)} = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_{T(ТО)}}{k_\phi}\right)^2 + 4r_T} \frac{T_{jm} - T_a - P_a [R_{thja} - Z_{(th)t}(t)]}{0,6 Z_{(th)t}(t) + 0,4 Z_{(th)t}(16) - Z_{(th)t}(10) + Z_{(th)t}(6)}}{\sqrt{2}r_T} - \frac{U_{T(ТО)}}{k_\phi} \quad (15)$$

$$I_{T(OV)} = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_{T(ТО)}}{k_\phi}\right)^2 + 4r_T} \frac{T_{jm} - T_a}{0,6 Z_{(th)t}(t) + 0,4 Z_{(th)t}(16) - Z_{(th)t}(10) + Z_{(th)t}(6)}}{\sqrt{2}r_T} - \frac{U_{T(ТО)}}{k_\phi} \quad (16)$$